

# STUDI KORELASI INDEKS PLASTISITAS DAN BATAS SUSUT TERHADAP PERILAKU MENGEMBANG TANAH

**Reki Arbianto<sup>1)</sup> Budi Susilo<sup>2)</sup> Niken Silmi Surjandari<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Studi S2 Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

<sup>2)</sup> Dosen Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta,

## ABSTRAK

Kemampuan mengembang dan menyusut tanah merupakan masalah bagi bangunan yang terletak di atas dan sekitarnya. Deformasi yang diakibatkan tanah ini, seringkali tidak dapat disangga oleh kekakuan struktur bangunan. Dampaknya pada struktur adalah rusaknya struktur dinding, terangkatnya struktur plat, rusaknya struktur jalan, jembatan, jaringan pipa, dan berbagai struktur bawah tanah lainnya. Beberapa ruas jalan di Boyolali mengalami kerusakan yang diduga akibat aktivitas tanah ekspansif. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tanah ekspansif dan mengamati hubungan antara indeks plastisitas dan batas susut dengan perilaku potensi mengembang tanah pada daerah tersebut.

Perilaku potensi mengembang diamati dalam dua kategori yaitu : persentase mengembang dan tekanan mengembang. Kedua perilaku tersebut diukur menggunakan Oedometer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks plastisitas mempunyai hubungan yang lebih kuat dibandingkan batas susut terhadap persentase mengembang dan tekanan mengembangnya. Semakin besar indeks plastisitas semakin besar persentase mengembang dan tekanan mengembang, sebaliknya semakin besar batas susut maka semakin kecil persentase mengembang dan tekanan mengembangnya.

**Kata kunci** : batas susut, indeks plastisitas, Oedometer, persentase mengembang, tanah ekspansif, tekanan mengembang.

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di Indonesia banyak sekali daerah yang memiliki jenis tanah dengan karakteristik mengembang. Di pulau Jawa ditemukan di beberapa lokasi : sekitar Pantai Utara meliputi Semarang, Kudus dan Purwokerto. Daerah timur di sekitar jalan tol Surabaya - Gresik. Daerah tengah dan selatan meliputi Ngawi, Caruban, Solo, Wates dan Yogyakarta. Daerah barat meliputi Cikampek, Cikarang, Serang dan Bandung, (As'ad, 1999).

Penelitian ini mengamati perilaku tanah di daerah Solo, tepatnya di kabupaten Boyolali karena kondisi infrastruktur transportasi berupa jalan di kabupaten tersebut berada pada taraf yang memprihatinkan. Bentuk kerusakan yang terjadi antara lain: lendutan, retak memanjang, retak melingkar dan retak menyebar pada konstruksi jalan. Hal ini terjadi pada empat ruas jalan sekaligus yaitu: ruas Karanggede – Juwangi, Jrebeng – Repaking, Mangu – Nogosari dan Tegalrayung – Papringan yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.

Uraian di atas yang melatarbelakangi penelitian untuk mengetahui karakteristik tanah di kabupaten Boyolali yang mengarah pada tanah ekspansif. Penelitian ini menggunakan metode pengujian laboratorium dan analisis studi korelasi indeks plastisitas (*plasticity index*) dan batas susut (*shrinkage limit*) terhadap perilaku mengembang tanah. Perilaku potensi mengembang (*swelling potential*) yang dapat dinyatakan dalam persentase mengembang (*swelling percentage*) dan tekanan mengembang (*swelling pressure*). Pengujian kedua perilaku tersebut menggunakan alat *Oedometer*. Sampel uji yang digunakan adalah hasil pemadatan *standard proctor* pada kadar air optimum, dimana kondisi awal sampel mencapai batas susut. Studi korelasi ini merupakan langkah awal dalam mengatasi kerusakan jalan, sarana dan prasarana di daerah tersebut.

### **1.2 Tujuan**

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui :

- a. derajat mengembang tanah (identifikasi tanah ekspansif),
- b. besar terukur persentase mengembang dan tekanan mengembang,
- c. korelasi antara indeks plastisitas dengan persentase mengembang,
- d. korelasi antara indeks plastisitas dengan tekanan mengembang,
- e. korelasi antara batas susut dengan persentase mengembang,
- f. korelasi antara batas susut dengan tekanan mengembang.

### **1.3 Manfaat**

Manfaat dalam penulisan ini antara lain :

- a. diharapkan akan membantu untuk lebih mengerti perilaku tanah mengembang yang ada di Indonesia, khususnya di kabupaten Boyolali, Jawa Tengah,
- b. dapat memprediksikan besarnya persentase mengembang dan tekanan mengembang serta derajat mengembang tanah di daerah lain berdasarkan pada korelasi indeks plastisitas dan

batas susut terhadap perilaku mengembang tanah pada beberapa ruas jalan di kabupaten Boyolali.



Gambar 1.1 Peta Kabupaten Boyolali

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- penelitian dilakukan dengan pengujian laboratorium,
- tanah diambil dari ruas jalan Karanggede – Juwangi, Jrebeng – Repaking, Mangu – Nogosari dan Tegalrayung – Papringan, Kabupaten Boyolali. Pemilihan lokasi pengambilan sampel berdasarkan titik terjadinya kerusakan jalan yang dianggap mewakili daerah tersebut.
- Sampel tanah yang digunakan adalah tanah terganggu (*disturbed*).
- Sampel uji persentase mengembang dan tekanan mengembang di ambil pada kondisi kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.
- Pengujian persentase mengembang dan tekanan mengembang tanah dalam penelitian ini menggunakan alat *Oedometer*.
- Pembebanan pada arah vertikal saja.
- Persentase mengembang dan tekanan mengembang tanah dihitung mulai pada keadaan batas susut.
- Penekanan Pembahasan dianggap umum, tidak tergolong pada jenis tanah dan lokasi pengambilannya.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Tanah mengembang menunjukkan kecenderungan meningkatnya volume apabila terdapat air yang memungkinkan, tetapi juga berarti berkurangnya volume atau menyusut apabila airnya keluar. Pengembangan (*swelling*) ataupun penyusutan (*shrinkage*) pada tanah biasanya ditandai

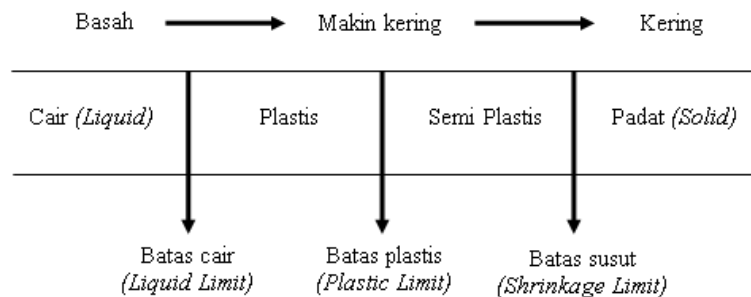
dengan adanya retakan-retakan akibat adanya penyusutan ataupun adanya pengembangan. Penyusutan dan pengembangan tanah selain tergantung pada perbedaan kadar air juga tergantung pada karakteristik dan klasifikasi tanah itu sendiri, (Peck, 1973 dalam Setiawati, 1998).

## 2.1 Batas Konsistensi Tanah

- Batas cair (*Liquid Limit* = *LL*), kadar air dimana untuk nilai-nilai diatasnya akan berperilaku sebagai cairan kental atau dapat juga didefinisikan sebagai kadar air dimana 25 kali pukulan oleh alat batas cair akan menutup celah (*groove*) yang berjarak 0,5 in (12,7 mm) sepanjang dasar mangkuk.
- Batas plastis (*Plastic Limit* = *PL*), kadar air dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 in (3,2 mm) menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah.
- Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks* = *PI*), adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah.  $PI = LL - PL$ .
- Batas susut (*Shrinkage Limit* = *SL*), kadar air tanah dimana tanah tersebut mempunyai volume terkecil pada saat airnya mengering. Batas susut dinyatakan dalam persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$SL = \left\{ \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \right\} - \left\{ \frac{(V_1 - V_2)\gamma_w}{W_2} \right\} \times 100\% \quad (2.1)$$

Untuk lebih jelasnya mengenai batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut :

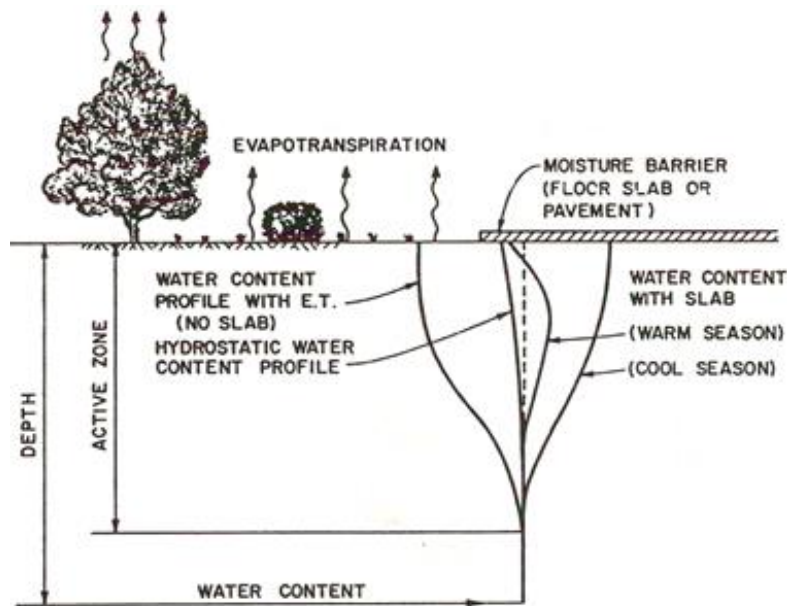


Gambar 2.1 Batas – Batas Konsistensi Tanah (DAS, 1983)

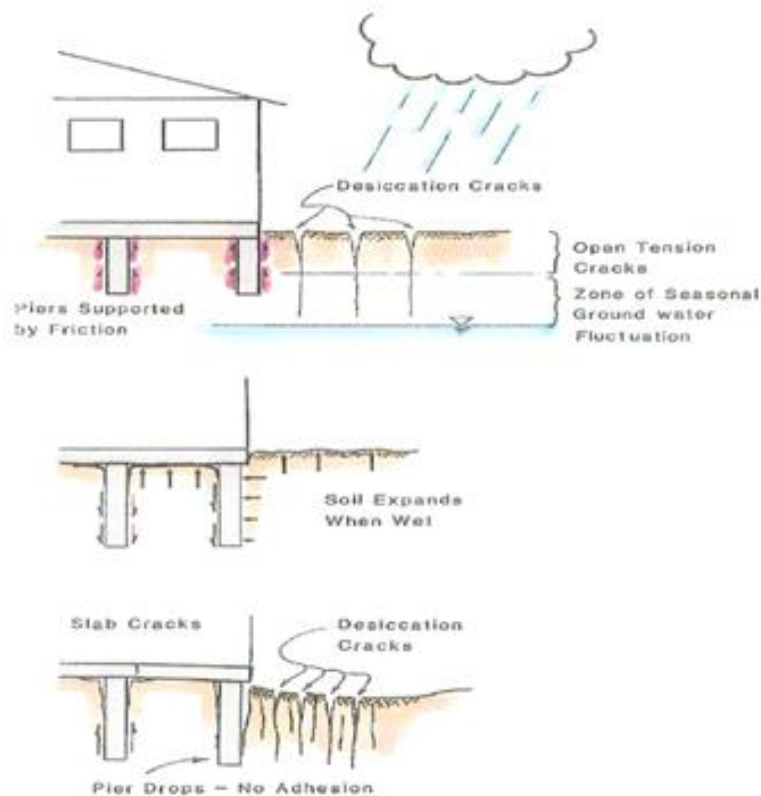
## 2.2 Definisi Tanah Ekspansif dan Zona Aktif

Tanah Ekspansif adalah tanah yang memiliki kecenderungan mengalami proses pengembangan (*swelling*) bila kelebihan air dan akan mengalami penyusutan (*shrinkage*) bila kekurangan air (Setiawan, 2008). Tanah tersebut mengandung kadar lempung yang cukup tinggi dengan mineral *montmorillonite* yang berpotensi *swelling* tinggi. Tanah ekspansif umumnya berjenis lempung dengan plastisitas tinggi (CH) yang memiliki rentang batas cair dengan batas plastis yang besar ( Indeks plastisitas yang tinggi, biasanya > 30% ). Sekalipun demikian, tanah yang termasuk lempung dengan plastisitas rendah (CL) dan lanau dengan plastisitas tinggi (MH) bisa juga ekspansif. Tanah ekspansif yang memiliki kadar air awal dan tekanan permukaan yang rendah akan mengembang lebih banyak saat terkena air dibandingkan dengan tanah ekspansif yang memiliki kadar air awal dan tekanan permukaan yang tinggi, (Jitno, 1996).

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa penguapan dari permukaan, kadar air dalam lahan kering akan lebih rendah dari pada profil kadar air hidrostatik. Jika kadar air berlebihan di permukaan tanah akan naik, selain itu temperatur juga ikut andil dalam proses tersebut. Gambar 2.5 memperlihatkan akibat iklim hujan maka sangat mempengaruhi kondisi sekitar bangunan dan terjadi kerusakan-kerusakan akibat intrusi air hujan ke dalam tanah ekspansif.



Gambar 2.2 Profil Kadar Air pada Zona Aktif (Nelson & Miller, 1992)



Gambar 2.3 Kerusakan Akibat Pengaruh Air pada Tanah Ekspansif

## 2.3 Identifikasi Tanah Ekspansif

Ada beberapa metode yang dipakai untuk mengenal tanah yang tergolong ekspansif, yaitu :

### a. Metode Indeks Tunggal

Metode Indeks Tunggal adalah cara mengukur potensi mengembang tanah lempung dengan menggunakan parameter indeks dasar tanah. Chen memberikan cara menilai potensi mengembang suatu tanah dengan parameter nilai indeks plastisitasnya keterkaitan tersebut dapat terlihat dalam Tabel 2.1. Sementara Altmeyer (1955) menjadikan hasil uji susut linier dan batas susut atterberg sebagai parameter identifikasi tanah ekspansif. Altmeyer (1955) dalam As'ad (1999), membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang (*Degree Of Expansion*) tanah lempung dengan nilai persentase susut linier dan batas atterberg. Pola hubungan antar nilai tersebut disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Hubungan Indeks Plastisitas dan Potensi Mengembang

Indeks Plastisitas ( % )	Potensi Mengembang
0-15	Rendah
10 – 35	Sedang
20 – 55	Tinggi
35 Keatas	Sangat Tinggi

*Sumber: Chen, F. H., 1975, Foundation on Expansive Soils, Developments in Geotechnical Engineering 12, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam*

Tabel 2.2 Hubungan Persentase Susut Atterberg, Susut Linier dengan Derajat Mengembang

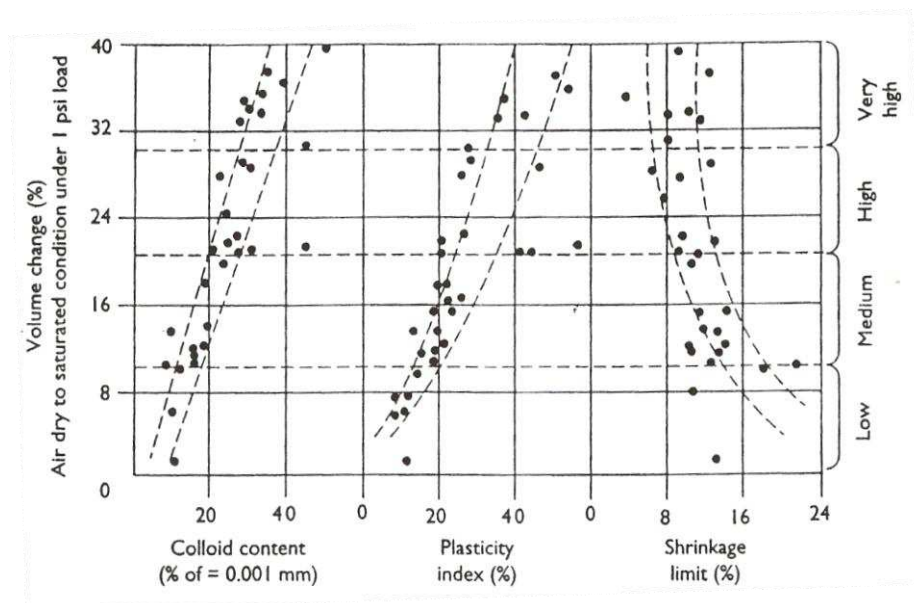
Batas susut Atterberg ( % )	Susut Linier ( % )	Derajat Mengembang
Lebih kecil 10	Lebih besar 8	Kritis
10 -12	5 – 8	Sedang
Lebih besar 12	0 - 5	Tidak kritis

*Sumber: Chen, F. H., 1975, Foundation on Expansive Soils, Developments in Geotechnical Engineering 12, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam*

### b. Metode Klasifikasi

Metode USBR, dikembangkan oleh Holtz & Gibbs (1959) dalam Chen (1975) didasarkan pada penilaian terhadap sejumlah nilai indeks tanah secara simultan. Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara sejumlah nilai indeks dimaksud dengan potensi mengembangnya.

Dari kurva pada Gambar 2.4 Holtz & Gibbs (1959) mengajukan kriteria identifikasi sebagaimana dalam Tabel 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Persentase Mengembang dengan Kandungan Koloid, Indeks Plastisitas dan Batas Susut (Holtz & Gibbs, 1959)

Tabel 2.3 Kriteria Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif USBR (Holzt & Gibbs, 1959)

Kandungan Koloid lebih kecil 0.001 mm (%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)	Kemungkinan Ekspansif perubahan Volume (%)	Derajat Ekspansif
>28	>35	<11	>20	Sangat
20 – 23	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Tinggi
>15	<18	>15	<10	Sedang Rendah

Sumber: Chen, F. H., 1975, *Foundation on Expansive Soils, Developments in Geotechnical Engineering 12*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

### c. Metode Pengukuran Langsung

Metode pengukuran yang paling baik adalah metode pengukuran langsung. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan konsolidometer konvensional satu dimensi. Contoh tanah berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya. Selanjutnya contoh tanah dibebani sesuai dengan beban yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca, beberapa saat setelah contoh tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah tinggi mengembang tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

## 2.4 Faktor yang Berpengaruh dalam Proses Penyusutan dan Pengembangan

Perubahan volume terjadi akibat dari perubahan lingkungan, (Mitchell, 1976 dalam Setiawati, 1998). Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi terjadinya penyusutan dan pengembangan antara lain :



- a. kadar air (*water content*),
- b. kepadatan (*density*),
- c. tekanan yang mengikat (*confining pressure*),
- d. suhu (*temperature*),
- e. susunan struktur tanah (*fabric*),
- f. air yang tersedia (*availability of water*).

## 2.5 Hubungan Batas Susut, Penyusutan, Persentase Mengembang dan Tekanan Mengembang

Potensi mengembang (*swelling potential*) adalah kemampuan mengembang tanah yang dinyatakan dalam persentase mengembang (*swelling percentage*) dan tekanan mengembang (*swelling pressure*). Persentase mengembang (*swelling percentage*) adalah perbandingan tinggi sampel tanah ( $\Delta H$ ) dengan tinggi awal sampel tanah ( $h$ ) dalam persen ( $\Delta H/h \times 100\%$ ). Tekanan mengembang (*swelling pressure*) adalah tekanan yang dibutuhkan untuk mengembalikan void ratio atau tinggi sampel tanah ke nilai awal ( $e_0, h_0$ ) setelah mengalami proses mengembang.

## 2.6 Model - model Empiris Prediksi Persentase Mengembang dan Tekanan Mengembang

### a. Persentase Mengembang

Prediksi persentase mengembang sudah pernah dibuat oleh beberapa peneliti antara lain Seed (1962) dalam Muntohar (2006), Nayak & Christensen (1974) dalam Phanikumar & Bhyravajjula (2006), Chen (1975) dalam Muntohar (2006), Muntohar (2006) dengan model empiris yang menggunakan sejumlah parameter index properti tanah. Model Seed (1962) ditunjukkan pada persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$S = 60 K (PI)^{2,44} \quad (2.2)$$

Model Chen (1975) ditunjukkan pada persamaan (2-3) sebagai berikut :

$$S = B e^{A(PI)} \quad (2.3)$$

Nayak & Christensen (1974) memberikan persamaan (2.4) model empiris untuk persentase mengembang dengan beberapa parameter.

$$S = 2,29 \times 10^{-2} (PI)^{1,45} x C/W_i + 6.39 \quad (2.4)$$

Muntohar (2006) mengusulkan model empiris dengan memasukkan parameter yang menurutnya mempunyai pengaruh yang kuat terhadap persentase mengembang yaitu fraksi lempung ( $CF$ ), batas cair ( $LL$ ), dan indeks plastisitas ( $PI$ ). Rumus empiris yang didapatkan sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2-5) sebagai berikut :

$$S = 0.171 CF + 0.0012 LL + 0.409 PI - 1.869 \quad (2.5)$$

Ranganatham dan Satyanarayan (1965) mengusulkan rumus sebagai berikut :

$$S = m_1 (SI)^{2,67} \quad (2.6)$$

Ranganatham & Satyanarayan (1965) menyatakan bahwa rumus (2.6), memprediksikan potensi mengembang tidak lebih dari  $\pm 34 \%$ . Akan tetapi ketika rumus tersebut digunakan (oleh Nayak & Christensen) pada tanah yang dipelajari oleh Seed, dkk., kesalahan pada hasil perhitungan nilai potensi mengembang sangat besar. Mengindikasikan bahwa rumus (2.6) yang



dikemukakan oleh Ranganatham dan Satyanarayan tidak dapat digunakan untuk tanah terpadatkan pada umumnya.

#### **b. Tekanan Mengembang**

Prediksi Tekanan mengembang dibuat oleh Komornik & David (1969) dalam Phanikumar (2006). Prediksi tersebut dibuat dalam rumus empiris yang menyatakan hubungan persentase mengembang dengan beberapa variabel indeks properti tanah.

$$\text{Log } P_s = 2.132 (LL) - 0.00065 (\gamma_d) + 0.00269(w_i) \quad (2.7)$$

Nayak & Christensen (1974) dalam Phanikumar & Bhyravajjula (2006), juga memberikan persamaan model empiris untuk tekanan mengembang dengan beberapa parameter, adapun rumus yang dikembangkan seperti pada persamaan (2.8) sebagai berikut :

$$P_s = 2,5 \times 10^{-1} (PI)^{1.12} \times C^2 / W_i^2 + 25 \quad (2.8)$$

### **3. METODE PENELITIAN**

Untuk mendapatkan data-data yang tepat maka dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen dimana akan dilakukan berbagai macam pengujian sehubungan dengan data-data yang diinginkan. Adapun pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari keempat ruas jalan di Boyolali. Pengujian sampel tanah melalui prosedur-prosedur laboratorium sesuai dengan standar ASTM (*America Society for Testing and Material*).

#### **3.1 Bahan dan Alat Penelitian**

Bahan dan alat yang digunakan dalam pengujian sampel penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Tanah yang dipergunakan adalah tanah yang diambil dari empat ruas jalan di Boyolali.
- b. Alat yang digunakan antara lain :
  1. *Specific Gravity Test*
  2. *Hydrometer Test*
  3. *Sieve Analysis Apparatus*
  4. *Atterberg Limit Test*
  5. *Shrinkage Limit Test*
  6. *Standard proctor Test*
  7. *Oedometer*

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dibagi menjadi empat tahap pekerjaan yaitu : Pengambilan Sampel, Pengujian Pendahuluan, Persiapan Sampel Uji, Pengujian Potensi Mengembang, Analisis dan Pembahasan.

##### **a. Pengambilan Sampel (Tahap I)**

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan penggalian biasa karena tanah yang digunakan tanah terganggu (*disturbed*). Titik pengambilan sampel dapat dilihat dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Titik Pengambilan Sampel

Ruas Jalan	Titik Pengambilan			
	STA	STA	STA	STA
Karanggede –Juwangi	4+000	8+000	12+500	21+000
Jrebeng – Repaking	0+500	1+500	4+500	9+000
Mangu – Nogosari	0+600	3+000	4+500	6+000
Tegalrayung-Papringan	1+500	3+000	3+500	5+000

**b. Pengujian Pendahuluan (Tahap II)**

**1. Pengujian Klasifikasi**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi dan jenis tanah serta perilakunya. Pengujian yang dilakukan meliputi :

- *Specific gravity* (ASTM D 854-92), untuk mengetahui berat jenis butiran tanah.
- *Grain size analysis* (ASTM D 422-63), untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah.
- *Atterberg limit* (ASTM D 4318–95a), untuk mengetahui batas - batas konsistensi tanah (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas).

**2. Pengujian Pemadatan**

Sampel uji adalah tanah yang dipadatkan dengan pengujian *standard proctor* (ASTM D 698-91) pada kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) dimana tanah telah mencapai kepadatan yang maksimum ( $\gamma_{d_{max}}$ ). Pada kondisi ini dijadikan sebagai standar kepadatan masing-masing sampel untuk pengujian potensi mengembang.

**c. Persiapan Sampel Uji (Tahap III)**

Sampel uji diambil dari tanah yang sudah dipadatkan pada kadar air optimum kemudian dibentuk kubus  $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$  untuk pengujian batas susut. Selain itu disiapkan sampel uji untuk pengujian potensi mengembang, tanah dicetak dalam ring *Oedometer*. Tebal sampel uji tanah diukur menggunakan jangka sorong. Penimbangan sampel uji tanah dimaksudkan untuk mengetahui berat awal yang nantinya digunakan sebagai kontrol kadar air :

1. Pengujian Batas Susut
2. Sampel Kondisi Batas Susut
3. Pembebanan Awal untuk Mencapai Batas Susut

**d. Pengujian Potensi Mengembang (Tahap IV)**

1. Pengujian Persentase Mengembang (*Swelling Percentage*)
2. Pengujian Tekanan Mengembang (*Swelling Pressure*)

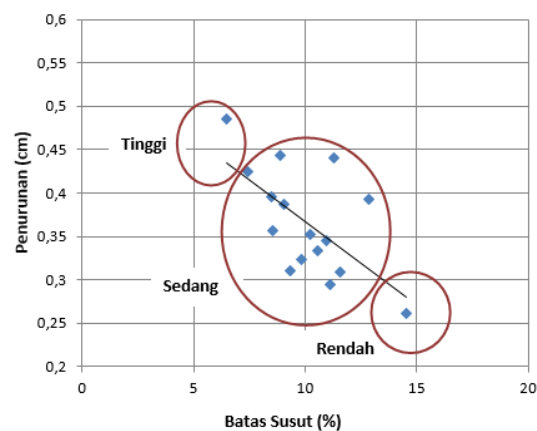
**e. Analisis dan Pembahasan (Tahap V)**

Pengujian yang telah dilakukan selanjutnya akan dianalisis data untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif dan derajat mengembang pada tanah yang diamati dengan beberapa metode antara lain : Metode indeks tunggal, metode klasifikasi dan metode pengukuran langsung.

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Batas Susut dan Hitungan Penurunan

Pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya penyusutan yang terjadi, karena *sweeling* yang terjadi dihitung dari keadaan batas susut. Berdasarkan hasil pengujian batas susut yang disajikan dalam Tabel 4.1, selanjutnya akan diubah menjadi besarnya penurunan sampel uji untuk mencapai kondisi batas susut yang selanjutnya dibuat suatu hubungan seperti pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 menunjukkan apabila nilai batas susutnya besar berarti sedikit air yang hilang setelah pengeringan dengan kata lain semakin sedikit volume yang berubah akibat berkurangnya air tersebut. Berdasarkan pada grafik tersebut besarnya batas susut dan penurunan dapat dikelompokkan kemudian diambil rata-rata, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Korelasi antara Batas Susut dengan Penurunan

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Batas Susut dan Penurunan

Nomor sampel	Batas Susut	Penurunan
	(%)	(cm)
(1)	(2)	(3)
KJ STA 4+000	12.87	0.392
KJ STA 8+000	8.87	0.443
KJ STA 12+500	6.49	0.485
KJ STA 21+000	8.47	0.395
JR STA 0+500	11.28	0.44
JR STA 1+500	10.23	0.352
JR STA 4+500	9.34	0.311
JR STA 9+000	8.55	0.356
MN STA 0+600	10.57	0.333
MN STA 3+000	11.11	0.295
MN STA 4+500	9.85	0.324
MN STA 6+000	14.53	0.261
TP STA 1+500	10.96	0.345
TP STA 3+000	9.06	0.387
TP STA 3+500	7.45	0.425
TP STA 5+000	11.57	0.309

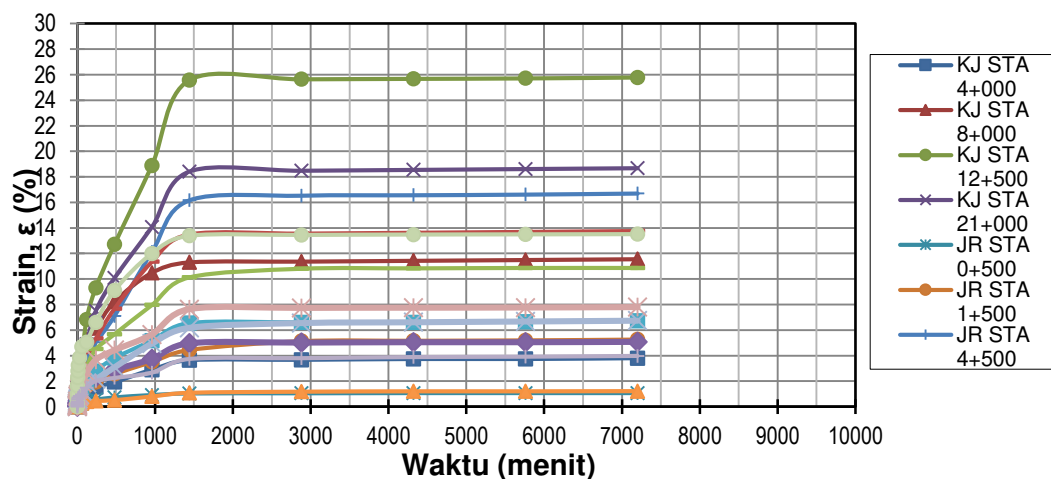
Tabel 4.2 Pembagian Kelompok Batas susut dan Penurunan

Kelompok	SL	Rata- rata SL	Penurunan	Rata-rata Penurunan
	(%)	(%)	(cm)	(cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Rendah	14.53	14.53	0.261	0.261
Sedang	7.45 -12.87	10.01	0.295 - 0.425	0.358
Tinggi	6.49	6.49	0.485	0.485

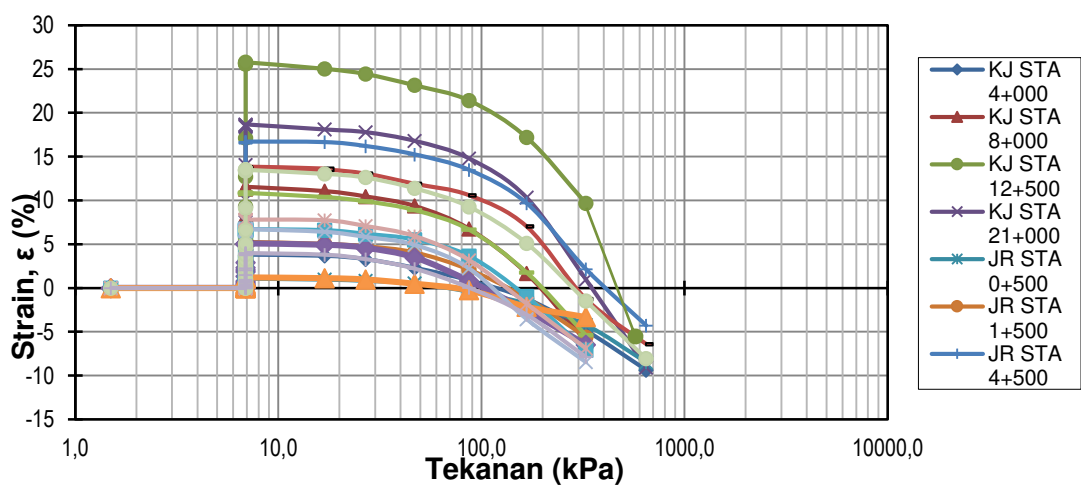
## 4.2 Pengujian Persentase Mengembang dan Tekanan Mengembang

Untuk memperjelas besarnya persentase mengembang dan tekanan mengembang diwujudkan juga dalam bentuk grafik yang disajikan dalam Gambar 4.2 dan 4.3.

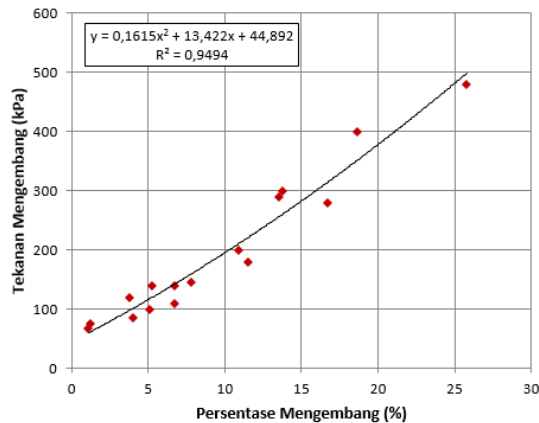
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *swelling* paling besar terjadi pada menit ke-1440 (1 hari) dan setelah itu tidak terjadi *swelling* yang signifikan sampai menit ke-7200 (5 hari) sebagai batas pengujian. Sampel KJ STA 12 + 500 memiliki persentase mengembang terbesar 25.78 %, sedangkan sampel JR STA 0+500 memiliki persentase mengembang terkecil 1.07 %.



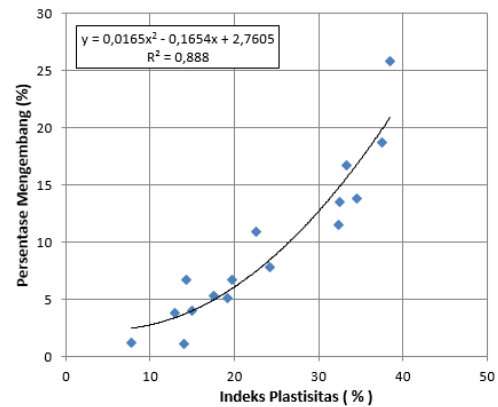
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Persentase Mengembang



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tekanan Mengembang



Gambar 4.4 Grafik Korelasi antara Persentase Mengembang dengan Tekanan Mengembang



Gambar 4.5 Grafik Korelasi antara Indeks Plastisitas dengan Persentase Mengembang

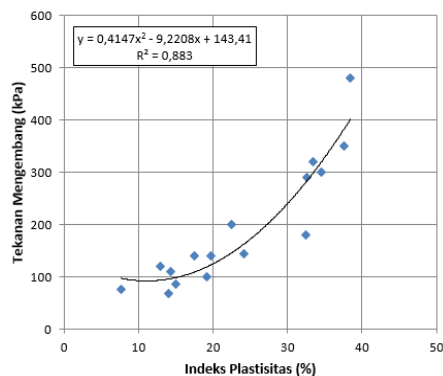
Gambar 4.3 menunjukkan sampel dari posisi awal mengalami proses mengembang sampai maksimal (5 hari), kemudian diberi tekanan sampai kembali ke posisi awal. Untuk memperjelas hubungan antara persentase mengembang dan tekanan mengembang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan semakin besar persentase mengembang semakin besar juga tekanan yang dibutuhkan sampel tanah untuk kembali ke posisi semula.

#### 4.3 Korelasi antara Indeks Plastisitas dengan Persentase Mengembang

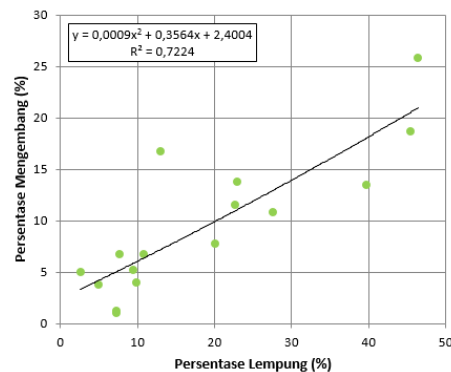
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar indeks plastisitas semakin besar juga persentase mengembangnya. Proses mengembang di laboratorium merupakan penyederhanaan pengamatan terhadap faktor yang berpengaruh pada proses yang terjadi dilapangan.

#### 4.4 Korelasi antara Indeks Plastisitas dengan Tekanan Mengembang

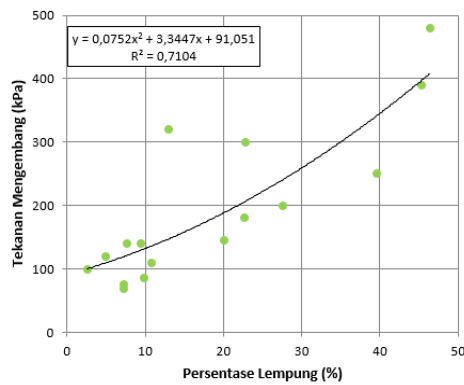
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa semakin besar indeks plastisitas semakin besar tekanan mengembangnya. Persentase mengembang semakin tinggi dengan bertambahnya Indeks plastisitas maka tekanan yang diberikan untuk mengembalikan sampel tanah dari mengembang ke posisi awal atau untuk meniadakan pengembangan tersebut semakin besar juga. Berikut ini akan disajikan grafik hubungan persentase lempung dengan potensi mengembang seperti pada Gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.6 Grafik Korelasi antara Indeks Plastisitas dengan Tekanan Mengembang



Gambar 4.7 Grafik Korelasi antara Persentase Lempung dengan Persentase Mengembang



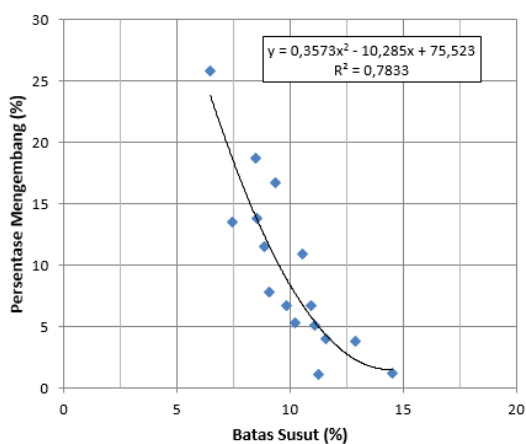
Gambar 4.8 Grafik Korelasi antara Persentase Lempung dengan Tekanan Mengembang

#### 4.5 Korelasi antara Batas Susut dengan Persentase Mengembang

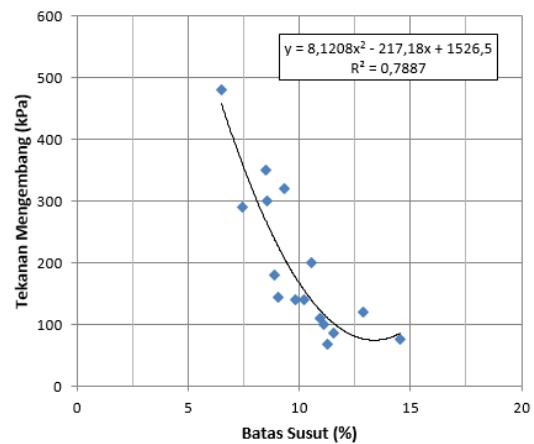
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa semakin besar batas susutnya semakin kecil persentase mengembangnya. Apabila batas susut semakin besar, tanah akan lebih sulit mengalami perubahan volume. Semakin besar nilai batas susutnya semakin banyak air yang dibutuhkan untuk dapat mengubah volume. Berdasarkan *tren* yang terbentuk pada Gambar 4.9 tersebut, sesuai dengan grafik metode USBR yang dikembangkan oleh Holtz & Gibbs (1959).

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar batas susutnya semakin kecil tekanan mengembangnya karena *swelling* yang terjadi semakin kecil seiring bertambahnya nilai batas susut maka tekanan yang diberikan akan semakin kecil.

Korelasi antar indeks plastisitas dan batas susut dengan potensi mengembang semuanya membentuk regresi *polynomial* karena regresi inilah yang paling sesuai (mempunyai harga  $R^2$  terbesar) dibandingkan dengan analisis regresi yang lain seperti *linier*, *exponential*, *logarithmic*, *power*, *moving average*. Ketidakteraturan sebaran data dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain kadar air (*water content*), kepadatan (*density*), tekanan yang mengikat (*confining pressure*), suhu (*temperature*), susunan struktur tanah (*fabric*), air yang tersedia (*availability of water*), (Mitchell, 1976).



Gambar 4.9 Grafik Korelasi antara Batas Susut dengan Persentase Mengembang



Gambar 4.10 Grafik Korelasi antara Batas Susut dengan Tekanan Mengembang

#### 4.7 Prediksi Persentase Mengembang dan Tekanan Mengembang

##### a. Persentase Mengembang

Penelitian ini mendapatkan persamaan empiris antara indeks plastisitas vs persentase mengembang berdasarkan grafik pada Gambar 4.5

$$S_{(PI)} = 0.016(PI)^2 - 0.165 (PI) + 2.760 \quad (4.1)$$

keterangan :

$S_{(PI)}$  = Persentase mengembang parameter indeks plastisitas (%)

$PI$  = Indeks plastisitas (%)

Chen (1975) membandingkan beberapa model hubungan indeks plastisitas dengan persentase mengembang seperti pada Gambar 2.11, pada penelitian ini akan mengusulkan hubungan seperti yang dilakukan Chen (1975) untuk model – model prediksi persentase mengembang tersebut terhadap sampel tanah yang diamati seperti pada Gambar 4.11.

Gambar 4.11 adalah *plotting* antara indeks plastisitas vs prediksi persentase mengembang beberapa peneliti (Tabel 4.7), menunjukkan bahwa regresi paling baik dengan nilai  $R^2$  terbesar sampai dengan terkecil adalah Model Seed (1962) ( $y=0.014 x^2 - 0.187 x + 1.011$ ,  $R^2=0.999$ ), model Peneliti (2009) ( $y=0.016 x^2 - 0.165 x + 2.76$ ,  $R^2=0.999$ ), model Chen (1975) ( $y=0.007 x^2 - 0.146 x + 1.430$ ,  $R^2=0.995$ ), Model Muntohar (2006) ( $y=0.007 x^2 + 0.254 x + 0.251$ ,  $R^2=0.954$ ) dan yang terakhir adalah model Nayak dan Christensen (1974) ( $y=0.009 x^2 - 0.240 x + 8.165$ ,  $R^2=0.828$ ). Model yang dikembangkan Muntohar (2006) dan Nyak & Christensen (1974) memang memiliki regresi yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan model lainnya karena memasukkan nilai parameter yang lebih kompleks akan tetapi mempunyai nilai lebih karena tidak hanya memperhatikan parameter indeks plastisitas ( $PI$ ) saja, melainkan parameter-parameter yang mempengaruhi persentase mengembang antara lain fraksi lempung ( $CF$ ), batas cair ( $LL$ ) dan kadar air awal ( $w_i$ ).

Holtz & Gibbs (1959) dalam Chen (1975) mengembangkan metode USBR yang didasarkan pada hubungan persentase mengembang dengan kandungan koloid, Indeks plastisitas dan batas susut yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9, Mengacu pada hubungan tersebut, dalam penelitian ini akan dibuat persamaan dari hasil pengamatan sebagaimana grafik dalam Gambar 4.9 yang menghasilkan persamaan empiris sebagai berikut :

$$S_{(SL)} = 0.357 (SL)^2 - 10.28 (SL) + 75.52 \quad (4.2)$$

keterangan :

$S_{(SL)}$  = Persentase mengembang parameter batas susut (%)

$SL$  = Batas susut (%)

##### b. Tekanan Mengembang

Prediksi tekanan mengembang pada penelitian ini akan ditentukan berdasarkan persamaan dari hasil pengamatan hubungan antara indeks plastisitas dan batas susut dengan tekanan mengembang sebagaimana pada Gambar 4.6 dan 4.10.

$$P_{s(PI)} = 0.414 (PI)^2 - 9.220 (PI) + 143.4 \quad (4.3)$$

keterangan :

$P_{s(PI)}$  = Tekanan mengembang parameter indeks plastisitas (kPa)



PI = Indeks plastisitas (%)

$$P_{s(SL)} = 8.120 (SL)^2 - 217.1 (SL) + 1526 \quad (4.4)$$

keterangan :

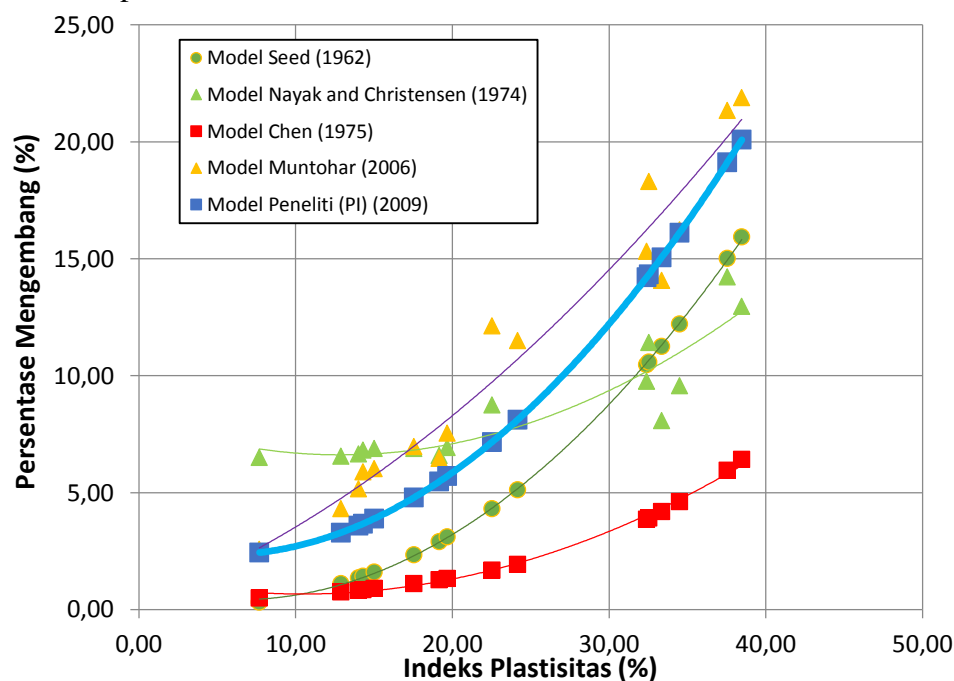
$P_{s(SL)}$  = Tekanan mengembang parameter batas susut (kPa)

SL = Batas susut (%)

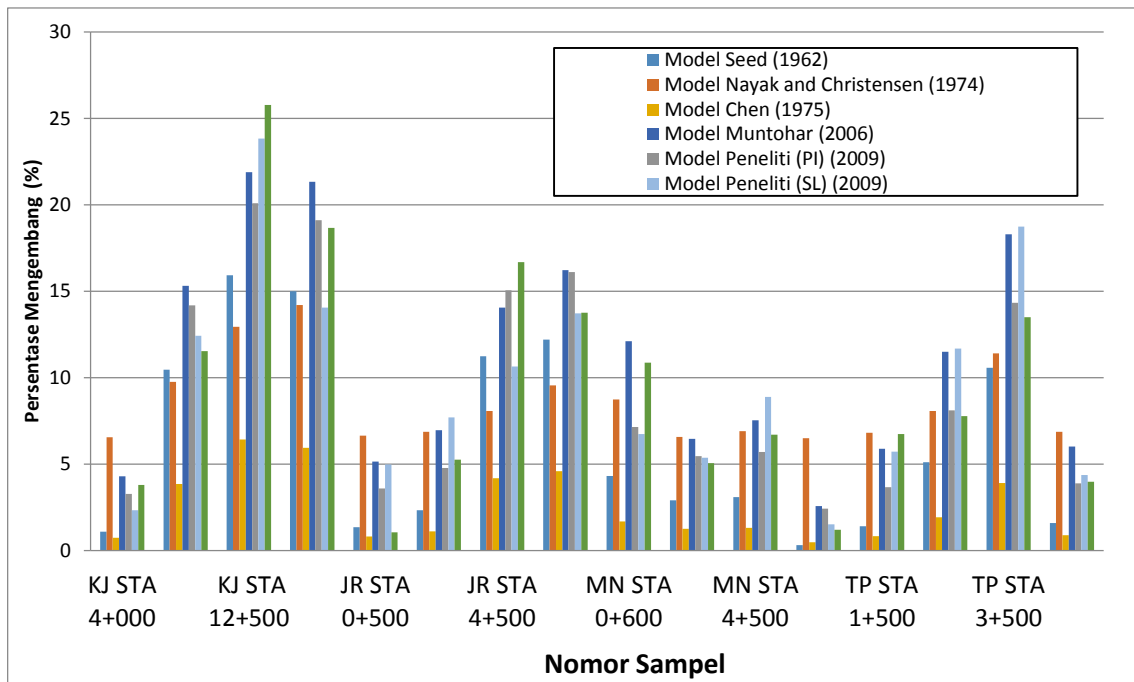
Perbandingan hasil hitungan tekanan mengembang model Komornik & David (1969), Nayak & Christensen (1974) dengan model Peneliti (2009) ditunjukkan pada model-model prediksi potensi mengembang disajikan juga dalam bentuk histogram yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13.

Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan besar persentase mengembang terukur dari semua sampel yang diuji dengan prediksi dari model empiris yang diusulkan oleh Seed (1962), Nayak & Christensen (1974), Chen (1975), Muntohar (2006) dan Peneliti (2009). Semua rangkaian pada grafik memperlihatkan nilai pengukuran dan prediksi dari semua sampel tanah. Besar persentase mengembang terukur dekat dengan persentase mengembang dari model empiris yang diusulkan oleh Peneliti (2009), Seed (1962), Nayak & Christensen (1974) dan Muntohar (2006). Akan tetapi model empiris yang dikembangkan Nayak & Christensen (1974) menunjukkan tren yang cenderung datar. Sedangkan model empiris yang dikembangkan Chen (1975) mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding model-model yang lain dan jauh dari hasil terukur.

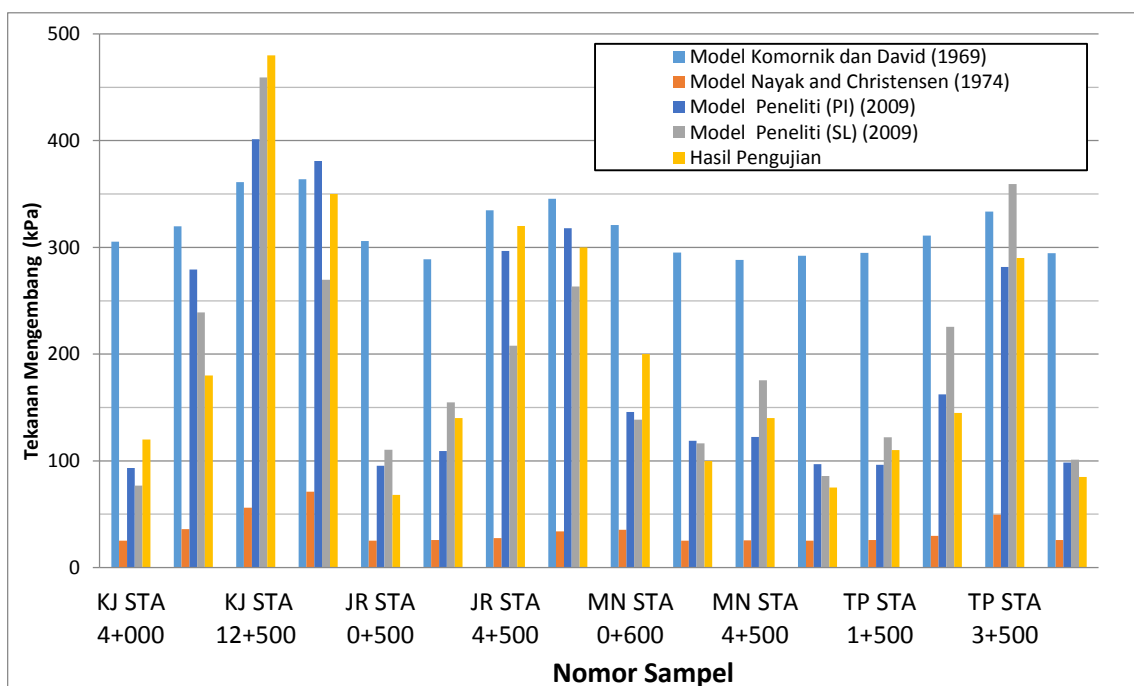
Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan besar tekanan mengembang terukur dari semua sampel yang diuji dengan prediksi dari model empiris yang diusulkan oleh Komornik & David (1969), Nayak & Christensen (1974) dan Peneliti (2009). Model Peneliti (2009) mempunyai hubungan yang dekat dengan hasil tekanan mengembang terukur karena hanya memasukkan parameter indeks plastisitas dan batas susut.



Gambar 4.11 Grafik Model – model Empiris Prediksi Persentase Mengembang



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Besar Persentase Mengembang



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Besar Tekanan Mengembang

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- tanah yang diamati merupakan tanah ekspansif yang mempunyai potensi mengembang rata – rata sedang – tinggi dan derajat mengembang rata – rata sedang(*marginal*) – kritis,

- b. persentase mengembang (*swelling percentage*) terbesar terjadi pada sampel KJ STA 21+000 adalah 25.78 %. Sedangkan sampel JR STA 0+600 memiliki persentase mengembang terkecil 1.07%, dimana pertambahan *swelling* maksimum terjadi pada menit ke-1440 (1 hari),
- c. korelasi antara indeks plastisitas dan batas susut dengan perilaku mengembang terhadap tanah yang diamati membentuk regresi *Polynomial* sesuai dengan grafik metode USBR yang dikembangkan oleh Holtz & Gibbs (1959). Penelitian ini mendapatkan empat persamaan sebagai berikut :
  - $S_{(PI)} = 0.016 (PI)^2 - 0.165 (PI) + 2.760$
  - $S_{(SL)} = 0.357 (SL)^2 - 10.28 (SL) + 75.52$
  - $P_{s(PI)} = 0.414 (PI)^2 - 9.220 (PI) + 143.4$
  - $P_{s(SL)} = 8.120 (SL)^2 - 217.1 (SL) + 1526$

Persamaan tersebut diatas diharapkan dapat memprediksikan besar persentase mengembang dan tekanan mengembang di suatu daerah dengan parameter indeks plastisitas dan batas susut.
- d. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa indeks plastisitas mempunyai hubungan yang lebih kuat daripada batas susut dalam mempengaruhi besarnya persentase mengembang dan tekanan mengembang.
- e. Kerusakan pada ruas jalan di Boyolali sangat dimungkinkan terjadi karena peristiwa kembang-susut tanah, mengingat dari hasil penelitian tanah mempunyai potensi mengembang rata-rata sedang – tinggi.

## 5.2 Saran

- a. Perlu dilakukannya pengujian kandungan mineral lempung (*Montmorillonite, illite, kaolinite*) karena sangat berpengaruh terhadap potensi mengembang.
- b. Penelitian perilaku mengembang tanah ini perlu dilanjutkan untuk kondisi kadar air awal yang lebih bervariasi.
- c. Sampel uji yang dipakai hendaknya lebih banyak agar dapat diperoleh kesimpulan yang akurat. Sampel uji yang dipakai hendaknya lebih banyak agar dapat diperoleh kesimpulan yang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 1997, *Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Consrtuction, Volume 04.08, Soil and Rock (I)*, ASTM European Office, England.
- As'ad, S., 1999, *Studi Perilaku Mengembang dan Kuat Geser Tanah Lempung Ekspansif Akibat Siklus Berulang Basah-Kering*, Thesis Magister, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Chen, F. H., 1975, *Foundation on Expansive Soils*, Developments in Geotechnical Engineering 12, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Das, Braja M., 1983, *Advance Soil Mechanics*, Mc. Graw Hill, Singapore.
- Holtz, Robert D., and Kovacs, William D., 1981, *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall. Inc. New Jersey, USA.

- Jitno, H., 1996, *Tanah Ekspansif : Masalah dan solusinya*, Prosiding Seminar Geoteknik Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Muntohar, A. S., 2006, *Prediction and Classification of Expansive Clay Soils*, Proceedings, Expansive Soils : Recent Advances in Characterization and Treatment, Taylor & Francis Group, London, UK.
- Nelson, John D., and Miller, Debora J., 1992, *Expansive Soils : Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*, John Wiley & Sons.Inc, New York.
- Phanikumar and Bhyravajjula R., 2006, *Prediction of Swelling Characteristics With Free Swell Index*, Proceedings, Expansive Soils : Recent Advances in Characterization and Treatment, Taylor & Francis Group, London, UK.
- Setiawan, B., 2008, *Mineral Lempung Ekspansif Permasalahan dan Penanganannya*, Makalah mata kuliah Clay Mineralogi, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Setiawati, L., 1998, *Tinjauan Besar dan Potensi Swelling pada Tanah di Sekitar Universitas Sebelas Maret dengan Alat Oedometer*, Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNS, Surakarta.